На правах рукописи

ЧАЩИН Александр Адольфович

УДК 552.11 (551.217.4)

“ПЕТРОЛОГИЯ ПОРОД ВУЛКАНОВ ГОРЕЛЫЙ И МУТНОВСКИЙ (ЮЖНАЯ КАМЧАТКА)”

Специальность 25.00.04 – петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владивосток - 2008

Диссертационная работа выполнена в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН.

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
Мартынов Ю.А.

Официальные оппоненты:
доктор геолого-минералогических наук
И.А. Тарарин (ДВГИ ДВО РАН г. Владивосток)

кандидат геолого-минералогических наук
В.Л. Леонов (ИВиС ДВО РАН г. Петропавловск-Камчатский).

Ведущая организация:
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск

Защита состоится «26» декабря 2008 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д-005.006.01 в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН по адресу:

690022, г. Владивосток, Пр. 100-летия Владивостока, 159,

Дальневосточный геологический институт.

Тел.: (4232) 317-554

Факс: (4232) 317-847

E-mail: fegi@online.marine.su

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЦНБ ДВО РАН (адрес тот же)

Автореферат разослан «____» _____2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геолого-минералогических наук Б.И. Семеняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. За последние десятилетия опубликовано большое количество работ по геолого-структурным (Авдейко и др., 2002; Апрелков, Попруженко, 1984; Шеймович, Патока, 1989; Очерки тектонического…. 1987; и др.), минералогическим, петрохимическим и изотопно-геохимическим (Волынец и др., 1990; Волынец, 1993; Колосков, 2001; Геохимическая типизация…..1990; Пополитов, Волынец, 1981; Перепелов, 1989; Churikova et al., 2001; Duggen et al., 2007; Kepezhinskas et al., 1997; Portnyagin et al., 2001; и др.) особенностям четвертичного базальтового вулканизма Камчатки. Вместе с тем в литературе очень мало комплексных петролого-геохимических описаний долгоживущих вулканических центров (Волынец и др., 1999; Хетчиков и др., 2000; Перепелов, 2004, 2005; Мартынов, Мартынов, Чащин и др., 2005). Немногочисленна информация и о физико-химических условиях кристаллизации вулканитов, что затрудняет решение вопросов генезиса и эволюции островодужных магм. В данной работе сделана попытка восполнить этот пробел на примере двух типовых объектов южной Камчатки – вулканов Горелый и Мутновский.

Цель исследований. Целью данной работы является детальное петрологическое исследование вулканитов различных этапов формирования двух рядом расположенных, действующих вулканов южной Камчатки – Горелый и Мутновский. В ходе исследований решались следующие основные задачи: 1. изучение составов минералов-вкрапленников; 2. анализ распределения петрогенных оксидов и микроэлементов; 3. оценка термодинамических параметров кристаллизации магматических расплавов и роли различных процессов (фракционной кристаллизации, коровой контаминации и др.) на их эволюцию; 4. установление основных особенностей развития вулканических центров.

Научная новизна исследований. В результате петрографических и минералогических исследований впервые дана детальная минералогическая характеристика основных типов пород вулканов Горелый и Мутновский. На основе полученного геохимического материала, а также результатов компьютерного моделирования (программа “Комагмат”) впервые выполнена реконструкция петролого-геохимической эволюции расплавов двух вулканических центров.

Практическая значимость. Полученные фактические данные могут быть применены для построения общей картины эволюции базальтового вулканизма южной Камчатки.

Методика исследований. В основу предлагаемой работы положен фактический материал, собранный автором при полевых исследованиях пород вулканов Горелый, Мутновский и вулканического хребта Скалистая-Двугорбая-Каменная (Южная Камчатка), с 1986 по 1997 гг. в Лаборатории петрологии вулканических формаций ДВГИ ДВО РАН. В отдельных случаях использованы коллекции каменного материала, переданные автору для исследований Ю.А. Мартыновым, В.Ф. Полиным и А.Б. Перепеловым. Было изучено более 300 прозрачных шлифов вулканических пород, выполнено 180 анализов на содержание петрогенных оксидов и микроэлементов, более 500 определений составов минералов, 60 анализов на РЗЭ, 20 определений изотопного состава кислорода и 13 - стронция, а также 40 хроматографических анализов газовой фазы в минералах.

Аналитические исследования. Состав минералов определялся на микрозонде Camebax в Институте вулканологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) и

на микроанализаторе JXA-5a в ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток)**.** Анализ содержаний петрогенных оксидов в вулканических породах был выполнен методом "мокрой" химии в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Измерение изотопных соотношений $^{18}O/^{16}O$ проведено на масс-спектрометре Finnigan MAT 252 (ДВГИ ДВО РАН). Определение концентраций Ni, Co, Cr, V, Pb, Cu, Zn осуществлялось с помощью количественного спектрального анализа; Rb, Ba, Sr, Zr - на рентгенофлуоресцентном спектрометре VRA-30 (ДВГИ ДВО РАН). Часть измерений микроэлементного состава проводилось методом ICP-MS в Иркутском Центре коллективного пользования на масс-спектрометре VG Plasmaquad PQ2+. Там же, на масс-спектрометре Finnigan MAT262 измерялись изотопные отношения Sr. Оценка флюидного режима минералообразования выполнена посредством программного комплекса "Селектор-С" (Карпов и др., 1997). Моделирование кристаллизационных процессов проведено по программе «Комагмат» (Арискин, Бармина, 2000).

Апробация работы. Непосредственно по теме работы автором опубликованы 7 статей в рецензируемых российских журналах и 5 статей в тематических сборниках. Отдельные вопросы диссертации изложены в одном из разделов монографии "Геодинамика, магматизм, металлогения Востока России" (2006). Результаты исследований были представлены на семи международных и шести отечественных конференциях и совещаниях, в том числе: на международном симпозиуме по прикладной геохимии стран СНГ (Москва, 1997), на первой международной научной конференции "Вулканизм и биосфера" (Туапсе, 1998), на IX, X и XI международных конференциях по термобарогеохимии (ВНИИСИМС г. Александров. 1999, 2001, 2003), на IV международной конференции "Новые идеи в науках о Земле" (Москва, 1999), на международном геологическом конгрессе в Италии (Флоренция, 2004), на всероссийском металлогеническом совещании "Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления." (Иркутск, 1998), на третьем региональном совещании "Минералогия Урала" (Миасс, 1998) и других.

Благодарности. Автор благодарит научного руководителя д.г.-м.н. Ю.А. Мартынова за постоянную помощь в работе, полезные советы и поддержку на протяжении всех этапов исследований, а также академика А.И. Ханчука, член-корр. В.Г. Сахно, к.г.-м.н. В.Ф. Полина, к.г.-м.н. В.К. Попова, к.г.-м.н. С.О. Максимова за обсуждение, замечания и рекомендации, позволившие значительно улучшить качество диссертации.

Автор глубоко признателен Н.П. Коноваловой, Л.В. Шкодюк, Г.И. Макаровой, С.П. Баталовой, В.Н. Каминской, А.И. Малыкиной, Л.А. Авдевниной, Н.И. Екимовой, В.М. Чубарову за аналитическое обеспечение исследований. Автор также благодарен к.г.-м.н. С.И. Дрилю и к.г.-м.н. А.Б. Перепелову за помощь в проведение прецизионных определений микроэлементов методом ICP-MS, к.г.-м.н. О.Б. Селянгину - за предоставленный каменный материал. За помощь в обработке материалов и техническое оформление работы выражается искренняя признательность Л.С. Цуриковой, Т.М. Михайлик и Н.Н. Семеновой.

СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения. Объем работы составляет 270 страниц, включая 30 таблиц и 74 рисунка. Список литературы включает 170 наименований.

В первой главе изложена информация о глубинном строении и структурной позиции Камчатки, приводится краткий обзор существующих представлений об истории развития островодужной системы. Описаны геолого-структурные особенности Южно-Камчатской вулканической зоны. *Во второй главе* рассмотрены основные черты геологического строения района исследования, приведены данные об истории изучения вулканов Горелый и Мутновский, вулканического хребта Скалистая-Двугорбая-Каменная. *В третьей главе* изложены результаты изучения минерального состава экструзивных и эффузивных пород, установлены минералого-петрографические группы, их взаимоотношения и последовательность минералообразования. *Четвертая глава* посвящена описанию распределения главных, редких и рассеянных элементов, а также изотопов стронция и кислорода в породах различных временных этапов формирования вулканических центров. *В пятой главе* рассмотрены физико-химические условия кристаллизации вулканитов. *В шестой главе,* на основе полученного петролого-геохимического материала, оценивается роль различных процессов (фракционной кристаллизации, коровой контаминации и др.) в образовании лав и предлагается модель петролого-геохимической эволюции расплавов. Завершает работу заключение, в котором изложены основные результаты исследований.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Вулканы Горелый и Мутновский располагаются на северо-восточном фланге Южно-Камчатской вулканической зоны, вблизи её границы с Малко-Петропавловской зоной поперечных дислокаций.

Вулкан Горелый, по своей морфологии относится к сложным кальдерным стратовулканам, сформированным в результате трех крупных этапов вулканической активности.

Первый, *докальдерный (Q_2)*, связан с формированием древней постройки щитового вулкана пра-Горелый. В настоящие время в уступах кальдеры сохранились только отдельные его фрагменты, сложенные потоками базальтов андезитов, андезито-дацитов и дацитов. Во второй, *кальдерный этап* (Q_3^3), в результате серий катастрофических извержений кислой пирокластики (пемза, игнимбриты), произошло формирование обширного плато площадью в 600 км^2, а в вершинной части вулкана пра-Горелый возникла кальдера размером 13х12 км (Кирсанов, Мелекесцев, 1991). Третий *посткальдерный этап* развития вулкана, объект нашего исследования, связан с формированием *раннего посткальдерного комплекса* (Q_3^{3-4}) и *сложной современной постройки* (Q_3^4-Q_4^4). Первый представлен лавами базальт-дацитового ряда, излияние которых произошло из моногенных вулканических аппаратов, расположенных на внешних северо-западных склонах вулканоструктуры. *Современная вулканическая постройка* (Q_3^4-Q_4^4) - щитообразный с пологими склонами вулканический хребет, вытянутый на 7 км в западно-северо-западном направлении. По результатам тефрохронологических исследований, в ее становлении выделяются шесть крупных циклов голоценовой вулканической активности (Селянгин, Пономарева, 1999).

В первый цикл (Q_3^4) в результате излияния лав базальт-андезитового ряда произошло формирование крупного конуса в. Горелый-I в центральной части кальдеры. *Второй цикл* (Q_4^1) характеризовался развитием вулканического сооружения в. Горелый-II. Состав слагающих его пород варьирует от базальтов до

андезитов с преобладанием андезито-базальтов. В это же период времени происходит заложение *рифтогенной зоны,* которая становится основной магмопроводящей структурой на завершающей стадии развития современной постройки. *Третий цикл* (Q_4^2) вулканической деятельности связан с формированием самого молодого и малообъемного конуса Горелого-III. Он сложен преимущественно лавами андезито-базальтового состава. Практически одновременно на северо-западном и юго-западном склонах вулкана происходит излияние незначительных объемов лав среднего состава *четвертого цикла* (Q_4^2). В течение двух последних крупнейших эпизодов вулканической активности (пятого и шестого) происходили извержения лав основного и среднего состава вдоль дугообразной системы рифтовых трещин пересекающих современную постройку с юго-запада на юго-восток, а также образующих короткое северо-западное ответвление на склоне в. Горелый.

Вулкан Мутновский представляет собой сложное хребтообразное сооружение, ориентированное в северо-западном направлении и состоящее из четырех слившихся между собой двойных стратовулканов, осложненных многочисленными побочными шлаковыми конусами и лавовыми потоками на склонах. Развитие каждого из них протекало по единой схеме: рост конуса - образование вершинной кальдеры - рост внутрикальдерной постройки - затухание вулканической деятельности. После этого происходило смещение выводного канала и возобновление цикла на новом месте (Селянгин, 1993).

В первый, позднеплейстоценовый (Q_3^2) цикл сформировался вулканический конус Мутновский-I, сложенный базальтами и андезито-базальтами, с незначительной долей андезитов, андезито-дацитов и дацитов. *Во второй цикл (Q_3^3)* преимущественно базальтовыми лавами был образован конус вулкана Мутновский-II. *Третий цикл (Q_3^4)* связан с формированием постройки Мутновский-III, которая сложена лавами, варьирующими по составу от базальтов до андезито-дацитов, при доминирующей доли базальтов. В конце третьего цикла происходило формирование кальдеры, сопровождавшееся выбросами пемзы андезит-дацитового состава. Самый молодой, *четвертый цикл (Q_3^4-Q_4)* активной вулканической деятельности приходится на начало голоцена, когда на юго-западном склоне вулкана Мутновский-III образовался новый конус – Мутновский-IV, сложенный исключительно лавами основного состава.

Вулканический хребет Скалистая-Двугорбая-Каменная расположен в пределах меридиональной Паратунско-Асачинской зоны разрывных нарушений, в узле её пересечения с зоной разломов северо-восточного простирания. Вышеназванная структура образована небольшими вулканами (Двугорбый, Скалистый и др.) представляющими собой обособленные горные массивы, примыкающие непосредственно к кальдере в. Горелый. Сложены они преимущественно андезито-дацитами, дацитами и риолитами. Базальты присутствуют в подчиненном количестве.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ.

Первое защищаемое положение

Наблюдаемые различия в распределении петрогенных оксидов, высокозарядных (Zr, Nb, U, Hf, Th, REE) и крупноионных литофильных (Rb, Ba) микроэлементов в базальтах вулканов Мутновский и Горелый вызвано возрастанием к тыловой зоне Камчатской островной дуги степени обогащения мантийного источника и роли осадочного материала в магмогенезисе.

Детальные петрологические исследования близких по возрасту излияния базальтов двух рядом расположенных вулканов Южной Камчатки – Мутновский (фронтальная часть вулканической зоны) и Горелый (тыловая часть) показали, что они существенно различаются по ряду петролого-геохимических параметров.

Среди базальтов докальдерного, раннего посткальдерного комплексов и современной постройки ***в. Горелый*** по составу вкрапленников выделяются Pl+Ol+Cpx и Pl+Ol+Opx+Cpx разности. По содержанию K_2O большинство базальтоидов относятся к умереннокалиевой известково-щелочной серии нормальной щелочности, умеренноглиноземистым и высокоглиноземистым (al=0.9-1.3) разностям калиево-натриевого ряда (Na_2O/K_2O=1.9-3.0). Исключение представляют вулканиты *рифтовой зоны* (V и VI циклы) современной постройки вулкана (Q_4^3 -Q_4^4), которые обладают повышенными содержаниями K_2O и соответствуют высококалиевой известково-щелочной серии. Характерной геохимической особенностью базальтов в. Горелый является высокое содержание литофильных (Rb, Cs, Ba,) и некоторых высокозарядных (Th, U, Nb, Hf, Zr, REE) элементов.

Базальты ***в. Мутновский*** имеют преимущественно Pl+Cpx+Ol парагенезис. По соотношению кремнезема и калия они относятся к низко- и умереннокалиевым разностям известково-щелочной серии, а по величине коэффициента глиноземистости принадлежат к умеренноглиноземистым (al=0.85-1.04) и высокоглиноземистым (al=1.0-1.91) разностям натриевого ряда (Na_2O/K_2O=4.30-9.80). По сравнению с базальтами докальдерного (Q_2) и раннего посткальдерного комплексов (Q_3^{3-4}) в. Горелый, базальты древней постройки в. Мутновский (Q_3^2) обогащены Al_2O_3, Na_2O и деплетированны в отношении P_2O_5, MgO. Для молодых базальтов в. Мутновский (Q_3^4-Q_4) свойственны более высокие содержания CaO, MgO, чем вулканитам современной постройки в. Горелый, но низкие - Na_2O, TiO_2, K_2O, SiO_2. Геохимическая специфика изученных лав основного состава в. Мутновский (независимо от времени их излияния) заключается в более низких содержаниях крупноионных литофильных (Rb, Ba, Cs) и высокозарядных (Zr, Nb, U, Hf, Th, REE) элементов, по сравнению с базальтоидами древней и современной построек в. Горелый.

Наблюдаемые геохимические различия базальтов двух вулканов могут быть вызваны: различным составом и степенью плавления мантийных источников, относительной ролью субдукционных компонентов, фракционированием минеральных фаз и коровой контаминацией.

Мантийный компонент. Анализ спектров распределения микроэлементов нормализованных к N-MORB и Yb базальтов докальдерного и раннего посткальдерного комплексов *в. Горелый* показал, что относительные концентрации «консервативных» высокозарядных катионов (Nb, Ta, Hf, Zr), а также средних и тяжелых лантаноидов близки или незначительно превышают единицу, что свидетельствует о N-MORB типе плавящегося мантийного вещества (рис.1). Это подтверждается также расположением фигуративных точек этих пород вблизи глобального тренда MORB на диаграмме Na8-Fe8. Увеличение относительных концентраций высокозарядных элементов (HFSE) в более молодых базальтах I-III циклов современной постройки и рифтовой зоны (V-VI циклы) в. Горелый, свидетельствует о вовлечении в процесс плавления более обогащенной мантии (рис.1).

Происхождение базальтов древней постройки в. Мутновский (Q_3^2) связано с плавлением надсубдукционной мантии более деплетированной по сравнению с источником N-MORB (рис. 2).

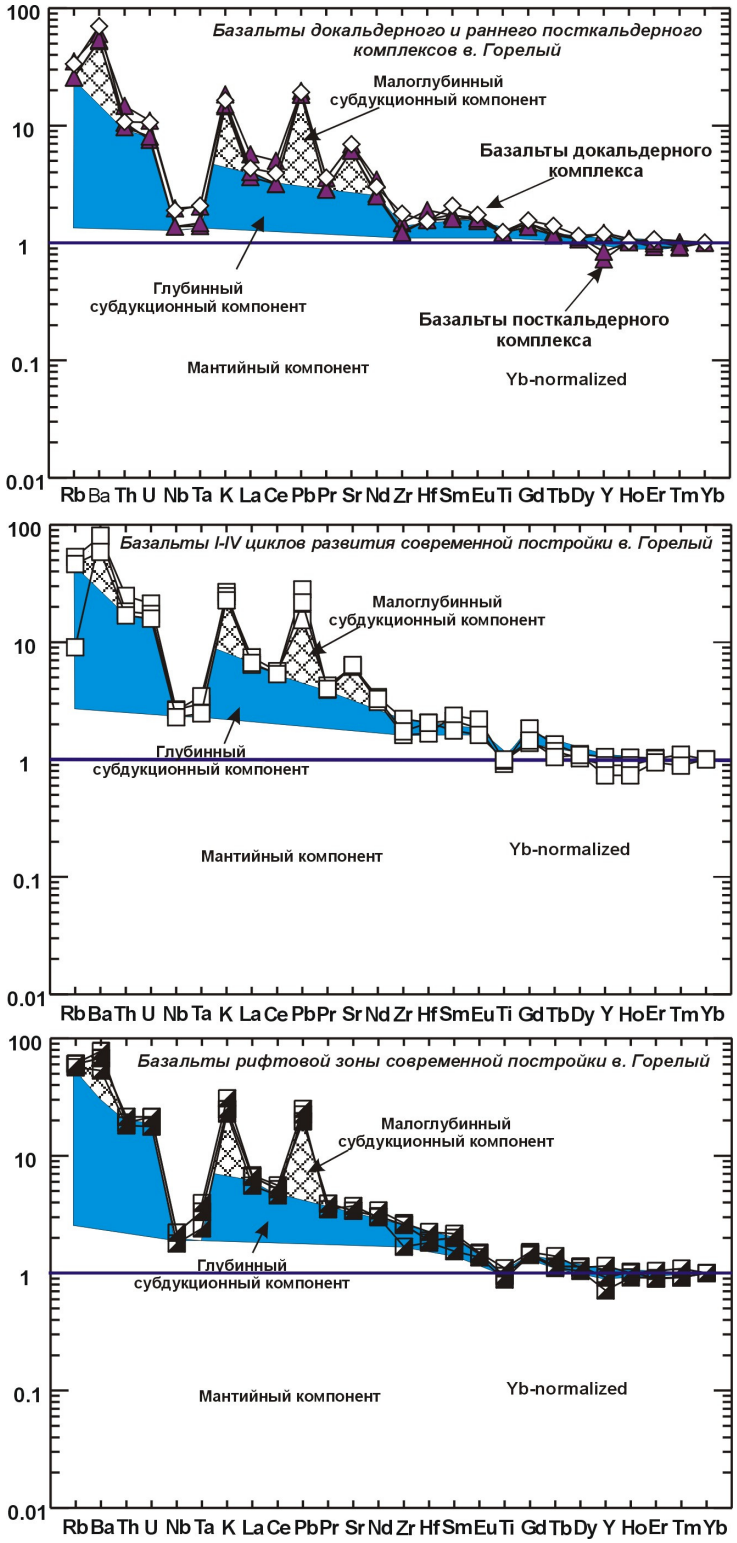


Рис. 1 ***Нормализованные к N-MORB (Pearce, Parkinson 1993) и Yb спектры распределения редкоземельных элементов базальтах в. Горелый.*** *Здесь и на рис. 2. использовались только образцы с содержанием MgO более 5.5%, которые были нормализованы к Yb, наиболее консервативному в субдукционном магматическом процессе (Pearce et al., 2004).*

Об этом также свидетельствуют низкие значения Zr/Yb и La/Sm отношений и смещение фигуративных точек проанализированных образцов в деплетированную область диаграммы Na8 – Fe8. Молодые базальты современной постройки (Q_3^4-

Q_4) в. Мутновский образовались при плавлении более обогащенной мантии, близкой по составу к источнику N-MORB (рис. 2).

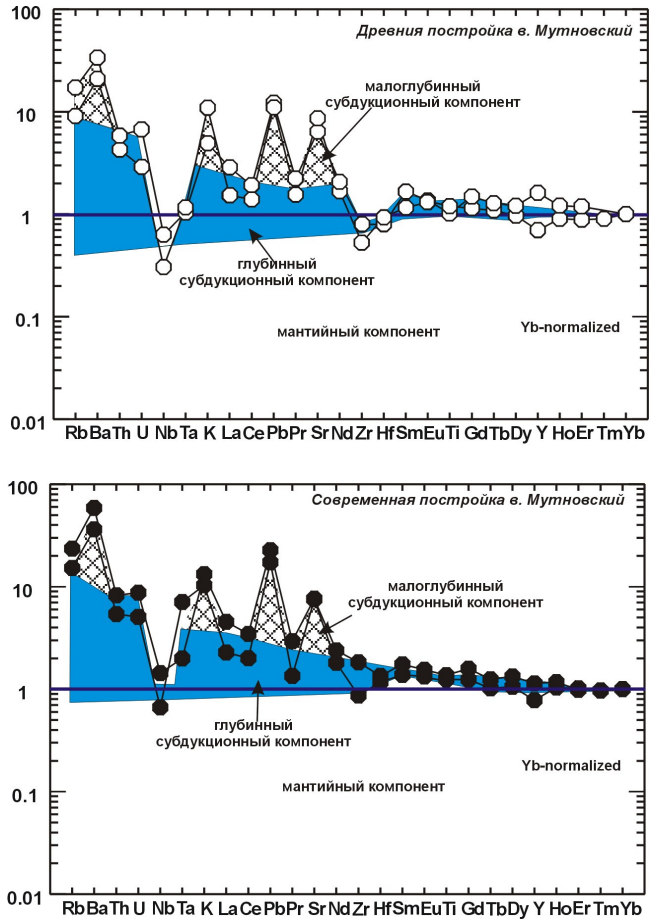


Рис 2 Нормализованные к N-MORB (Pearce, Parkinson 1993) и Yb спектры распределения редкоземельных элементов базальтах в. Мутновский.

В целом как для вулкана Горелый, так и вулкана Мутновский прослеживается определенная эволюция составов мантийных источников, с уменьшением степени их деплетированности.

Субдукционные компоненты. Особенности распределения некогерентных элементов в основных лавах вулканов Мутновский и Горелый (рис. 1, 2) свидетельствуют о влиянии на их состав как “низкотемпературного” малоглубинного, так и “высокотемпературного” глубинного субдукционных компонентов (Pearce et al., 2004). К первым относятся, элементы высокоподвижные во флюидной фазе (Ba, K, Pb, Sr, Cs), ко вторым (Th, U, La, Ce, Pr, Nd) - элементы, концентрирующиеся в расплавах, образующихся при плавлении субдукционного осадка.

Роль флюидной фазы и субдукционных осадков в происхождении базальтов вулканов Горелый и Мутновский хорошо иллюстрирует диаграмма Ba/Zr - Th/Zr (рис. 3).

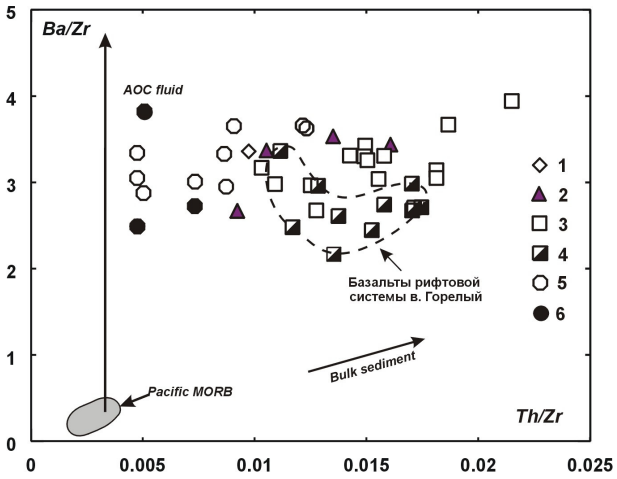


Рис. 3. Диаграмма Ba/Zr - Th/Zr по: (Ishizuka et al., 2003) для базальтов вулканов Горелый и Мутновский.

1-4 – в. Горелый: 1 – базальты докальдерного комплекса, 2 - базальты раннего посткальдерного комплекса, 3 – базальты I-III циклов развития современной постройки, 4 - базальты V-VI циклов развития современной постройки; 5-6 – в. Мутновский: 5 – базальты древней постройки, 6 – базальты молодой постройки.

На этой диаграмме видно, что при близких отношениях Ba/Zr, величина Th/Zr в базальтах в. Горелый несколько повышена, что подтверждает данные (Duggen et al., 2007) о более значительной роли осадочного компонента в генезисе тыловодужных лав. Смещение фигуративных точек базальтов раннего посткальдерного комплекса и первых трех циклов формирования вулкана Горелый в область более высоких значений Ba/Zr по сравнению с лавами рифтовой зоны дает основание предполагать о более значительной роли флюида в составе субдукционного компонента на ранних этапах развития этого вулкана.

Второе защищаемое положение

Данные высокотемпературной газовой хроматографии и результаты математического моделирования, показывают, что кристаллизация базальтов современной постройки вулкана Горелый происходила, при более низкой летучести кислорода, но при высокой активности фтора, хлора, калия и низкой - серы по сравнению с аналогичными породами вулкана Мутновский.

Оценка термодинамических параметров кристаллизации

Для оценки термодинамических параметров кристаллизации основных лав вулканов Мутновский и Горелый были использованы методы математического моделирования с применением программы “Комагмат” (Арискин, Бармина, 2000).

Среди базальтов современной постройки ***в. Горелый*** было выбрано 14 образцов. В эту группу вошли умереннокалиевые базальты *раннего посткальдерного комплекса* (Q_3^{3-4}), а также умереннокалиевые базальты *ранних циклов развития* (Q_3^4- Q_4^2) современной постройки и наиболее молодые высококалиевые базальты двух последних крупных извержений (Q_4^3-Q_4^4), связанных с вулканической активностью *рифтовой зоны*. Вычисления проводились при давление P=1кбар и содержание воды в системе – 0.25 мас. %. Расчеты велись до максимальной степени кристаллизации 70 %. Принимая во внимание некоторые минералогические и геохимические особенности (разный

состав и степень окисленности шпинелидов в базальтоидах, вариации значений Ti/V породах), моделирование осуществлялось в диапазоне фугитивности кислорода от 0.5 логарифмической единицы выше буфера QFM до 2 лог. ед. ниже буфера QFM.

Согласно данным ЭВМ-моделирования для пород *раннего посткальдерного комплекса* (Q_3^{3-4}) современной постройки последовательность кристаллизации минералов выглядит следующим образом: Pl (1221-1197^{0}C) → Ol (1158-1141^{0}C) → Cpx (1120-1116^{0}C). Завершает процесс кристаллизации магнетит (ниже 1100^{0}C). В некоторых случаях (обр. 2212) при температуре 1050^{0}C появляется пижонит. В *умереннокалиевых базальтах II - III циклов* развития современной постройки, а также *высококалиевых лавах рифтовой зоны,* первым на ликвидусе кристаллизуется Ol (1200-1140^{0}C). Одновременно с ним или сразу после него появляется Pl (1197-1135^{0}C), вслед за которым выделяются Opx (1130-1105^{0}C) и Cpx (1120-1088^{0}C). На более поздних стадиях, при температуре ниже 1070^{0}C, иногда наблюдается кристаллизация ильменита. Подтверждением реалистичности выбранных термодинамических параметров при ЭВМ-моделировании является близость рассчитанных составов минеральных фаз с данными микрозондовых анализов, и модельная последовательность кристаллизации минералов практически совпадающая с результатами петрографических исследований. Исключение составляют лишь ильмениты, которые в природных образцах не обнаружены.

Расчётные температуры кристаллизации для базальтов *первых трёх циклов* развития современной постройки неплохо согласуются с температурами гомогенизации расплавных включений в плагиоклазах и пироксенах, а также с температурами, полученными с помощью ряда минералогических термометров - двупироксеновый Д. Линдсли (Lindsley, Frost, 1992) и оливин-шпинелевый (Пономарев, Пузанков, 2002)**.**

При ЭВМ-моделировании лав ***в. Мутновский*** были использованы 9 образцов, отвечающих двум основным петрохимическим типам базальтов: высокоглиноземистым, древней (Мутновский-I) и магнезиальным, современной построек (Мутновский–IV). Вычисления осуществлялись при давлении 1кбар, содержании воды в системе 0.25 % и при значениях fO_2 лежащих на 0.5 лог. ед. ниже буфера QFM. Как следует из полученных данных, кристаллизация как глиноземистых, так и большинства магнезиальных базальтов начинается с Pl (1370-1210^{0}C). Сразу после плагиоклаза на ликвидусе появляется Ol (1188-1139^{0}C). Исключение составляют базальты с содержанием MgO около 10 мас. %, где первым на ликвидусе выделяется оливин (1240^{0}C). Третьей кристаллизующейся фазой во всех образцах является авгит (1134-1095^{0}C). В интервале 1100-1086^{0}C в магнезиальных базальтах иногда отмечается появление пижонита, что согласуется с петрографическими данными. В двух образцах высокоглиноземистых базальтов при температуре ниже 1081^{0}C появляется магнетит. Рассчитанный порядок появления минералов на ликвидусе, а также их составы хорошо согласуются с петрографическими минералогическими данными, что доказывает реалистичность заданных параметров. Модельные температуры начала кристаллизации плагиоклаза в высокоглиноземистых базальтах близки к температурному интервалу гомогенизации расплавных включений в плагиоклазах (1370-1250^{0}C и соответственно 1310-1280^{0}C); в магнезиальных базальтах постройки Мутновский–IV они заметно ниже (1280-1210^{0}C и соответственно 1320-1300^{0}C).

Полученные результаты ЭВМ-моделирования позволяют предполагать, что условия начальных стадий кристаллизации базальтов в. Горелый были более

высокотемпературными и восстановительными, чем условия кристаллизации лав в. Мутновский.

Состав летучих. Для оценки состава флюидной фазы, на разных стадиях развития исследуемых вулканических построек, газово-хроматографическим методом был выполнен анализ газов (H_2, N_2, CH_4, CO, CO_2, и H_2O), закапсулированных в плагиоклазах. Кроме того, в породах вулканов Мутновский и Горелый, были определены концентрации F, Cl (методом ионоселективных электродов) и S (рентгенофлуоресцентный анализ).

в. Горелый. Как следует из хроматографического анализа, главным компонентом газовой смеси лейкократовых минералов базальтов современной постройки является H_2O, на которую приходится 90–95 % от общего объема газов. Остальные 5-10 об.% газовой фазы неравномерно распределяются между H_2, N_2, CO и CO_2. В целом, базальты I - III циклов формирования постройки по составу закапсулированных газовых компонентов достаточно близки к базальтам рифтовой зоны, хотя и отличаются от последних несколько повышенным содержанием CO, CO_2 и низким - H_2O. Наряду с этим, им также свойственны низкие концентрации F (260-450 г/т соответственно 390–500 г/т) и Cl (270-420 г/т и соответственно 460–480 г/т), но высокие – S (70-280 г/т и соответственно 50-150 г/т).

Полученные с помощью программы «Селектор-С» расчетные оценки fO_2 для базальтов современной постройки в. Горелый показывают, что их кристаллизация происходила при значениях $-lgfO_2^{CO}$=13.31–13.85, при T=1100^{0}C. Величина летучести кислорода на наш взгляд несколько занижена, но вполне реально указывает на восстановительную обстановку кристаллизации лав. Об относительно низкой активности O_2, во время кристаллизации древних (Q_3^4- Q_4^2) и молодых (Q_4^3 -Q_4^4) базальтоидов современной постройки, свидетельствует невысокое содержание в них оксидных фаз железа и обогащение остаточного стекла FeO и TiO_2

в. Мутновский. Анализ газов из включений в лейкократовых минералах базальтов *древней постройки вулкана Мутновский-I* (Q^2_3) свидетельствует, что их кристаллизация происходила при общем низком уровне объема летучих компонентов, и при преобладании среди них воды (42 - 92 об.%). Вторая по объему составляющая представлена CO и CO_2, концентрации которых также широко варьируют (от 29.82 до 6.12 об.% и соответственно от 24.71 до 2.86 об.%). Количество H_2 в газовой смеси изменяется от 10.65 до 1.22 об.%. Второстепенными компонентами флюидной фазы являются метан и азот, причем эти элементы иногда не фиксируются. Содержание F (190 - 230 г/т) и Cl (100 - 280 г/т) в основных породах вулкана Мутновский-I несколько ниже, а S - выше по отношению к базальтам в. Горелый.

Магнезиальные базальты *современной постройки вулкана Мутновский-VI* (Q^4_3-Q_4) в отличие от глиноземистых базальтов вулкана Мутновский-I имеют более высокий уровень общего объема закапсулированных газов, главным образом за счет воды. Количество остальных газовых компонентов (H_2, CO и CO_2) относительно низко. Распределение F, Cl и S в древних и молодых базальтах близко.

Результаты термодинамических расчетов показывают, что на ранних этапах кристаллизация глиноземистых базальтов древней постройки и магнезиальных базальтов молодого конуса происходила при более высоких значениях fO_2 ($-lgfO_2^{CO}$ =12.03-13.27 при T=1100^{0}C), по сравнению с базальтами в. Горелый.

Третье защищаемое положение

Минералогические и геохимические данные, в сочетании с результатами математического моделирования, указывают на значительную роль фракционной кристаллизации и коровой контаминации, в происхождении лав древней постройки в. Мутновский (Q_3^2) и I-III циклов развития современной постройки в. Горелый (Q_3^4-Q_4^2). В генезисе более молодых эффузивов в. Горелый (Q_4^3-Q_4^4) роль коровых процессов была сравнительно небольшой.

Фракционная кристаллизация. Широкое распространение фенокристов Pl, Px, Ol с прямой зональностью свидетельствует о важной роли кристаллизационной дифференциации в эволюции пород вулканов Мутновский и Горелый. Фракционирование темноцветных минералов (Ol, Cpx) косвенно подтверждает аномально низкая концентрация когерентных элементов (Ni, Co, Cr) во всех преобладающих типах лав, включая базальты. Перегиб трендов вулканических пород на диаграммах CaO-MgO, Al_2O-MgO (рис. 4; 5) и Sr-MgO в области MgO < 5 мас. % логично объясняется сменой фракционирующего парагенезиса, с появлением плагиоклаза в составе кристаллизующейся ассоциации. Геохимическим признаком низкобарического фракционирования можно считать и постоянство La/Yb отношения в основных и кислых эффузивах вулканов Мутновский (La/Yb = 1 – 3.8; MgO = 8 – 0.5 мас. %) и Горелый (La/Yb=3 - 6; MgO = 11 – 0.5 мас. %), поскольку при других процессах (плавление примитивной или обогащенной мантии с реститовым гранатом или клинопироксеном, мантийный метасоматоз и коровая контаминация) легкие и тяжелые лантаноиды в той или иной степени фракционируют друг относительно друга.

На рис. 4 показаны вариации составов природных образцов и расчетные (программа “Комагмат”) тренды фракционной дифференциации магнезиальных базальтов в. Горелый. Для пород II и III циклов развития современной постройки в интервале базальт - андезито-базальт рассчитанные и природные тренды CaO, Al_2O_3, K_2O и SiO_2 близки между собой. Вблизи или на их продолжении располагаются и составы остаточных стекол основных пород. Модельные тренды достаточно хорошо описывают поведение Na_2O, хотя содержание этого элемента в расчетных остаточных жидкостях соответственно выше, чем в проанализированных природных образцах (рис. 4).

Для голоценовых базальтов рифтовой зоны (V-VI циклы) современной постройки в. Горелый рассчитанные и природные тренды практически совпадают для большинства петрогенных элементов (SiO_2, Na_2O, K_2O и CaO). Поведение Al_2O_3 в модельных жидкостях близко к таковому в природных образцах, но при более низких концентрациях.

Для пород молодой постройки в. Мутновского- IV, картина во многом сходная. Большинство элементов (SiO_2, CaO, Na_2O, K_2O) в области составов базальт - андезито-базальт (до 55 мас % SiO_2) показывают хорошее соответствие с расчетными трендами (рис. 5). Существенные отличия наблюдаются лишь по Al_2O_3. Поведение этого элемента при фракционировании контролируется, главным образом, плагиоклазом, состав и порядок кристаллизации которого зависит не только от температуры, но и от давления воды. Последние может вносить определенные погрешности в численное моделирование систем с высокими содержаниями Al_2O_3.

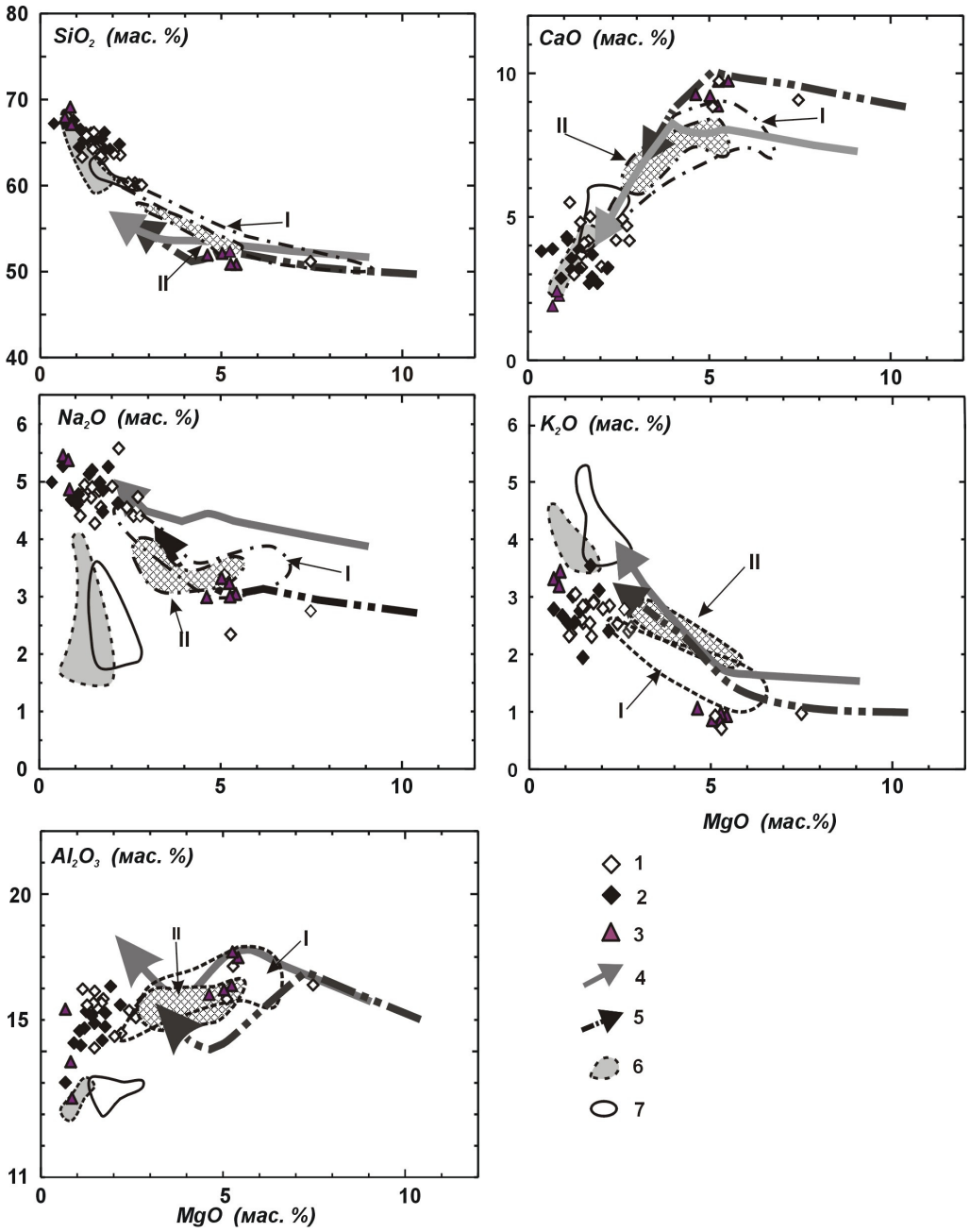


Рис. 4. Вариации содержаний петрогенных оксидов в зависимости от содержания MgO в породах в. Горелый.

1 – базальты, андезиты, андезито-дациты, дациты докальдерного комплекса; 2 – игнимбриты, пемзы кальдерного комплекса, 3 – базальты и дациты раннего посткальдерного комплекса; 4 – тренд кристаллизации исходной магмы (образец ЮМ-1568), рассчитанный при H_2O=0.25 и fO_2=1.5 лог. ед. ниже буфера QFM для лав I-III циклов развития постройки; 5 - тренд кристаллизации исходной магмы (образец 5671а), рассчитанный при H_2O=0.25 и fO_2=2 лог. ед. ниже буфера QFM для лав V-VI циклов развития постройки; 6 – стекло основной массы базальтов I-III циклов развития современной постройки, 7 - стекло основной массы базальтов V-VI циклов развития современной постройки. Римскими цифрами обозначены поля фигуративных точек: вулканитов первых трех циклов развития современной постройки(I) и рифтовой зоны современной постройки (II).

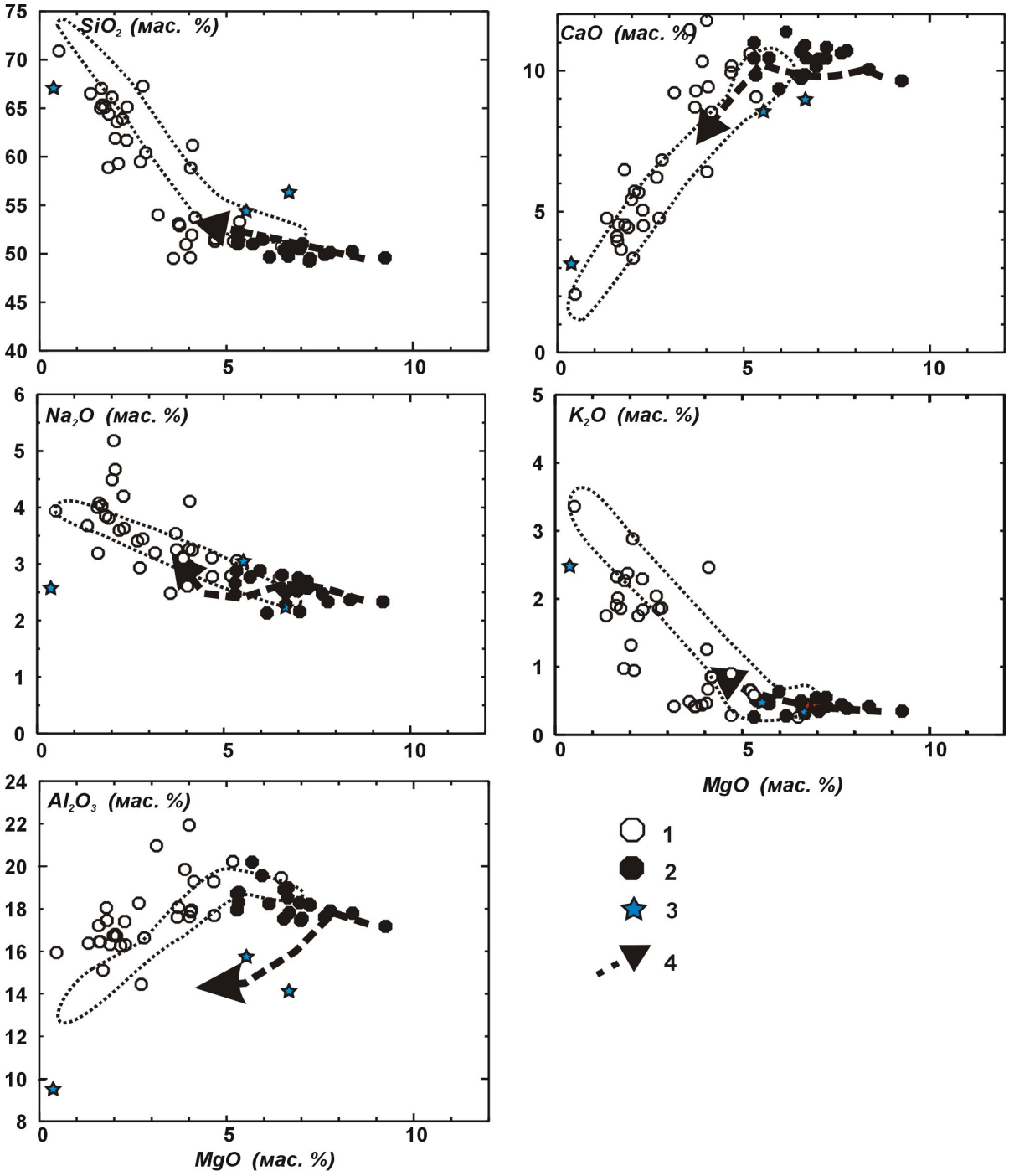


Рис. 5. Вариации содержаний петрогенных оксидов в зависимости от содержания MgO в породах в. Мутновский.

1 – базальты, андезиты, андезито-дациты, дациты древней постройки в. Мутновский-I; 2 – базальты, андезито-базальты современной постройки в. Мутновский-IV; 3 – стекло основной массы базальтов древней постройки в. Мутновский-I; 4 – рассчитанный тренд кристаллизации исходной магмы (образец ЮМ-2143) при H_2O=0.25 и fO_2=0.5 лог. ед. ниже буфера QFM для пород древней постройки в. Мутновский-I. Контуром обозначено поле фигуративных точек пород вулканического хребта Двугорбая-Скалистая-Каменная.

Согласно полученным результатам кристаллизационная дифференциация удовлетворительно объясняет поведение петрогенных элементов в породах с содержанием SiO_2 не превышающие 55 мас%. В этой связи для объяснения происхождения более кислых эффузивов требуется привлечение иных процессов.

Коровая контаминация. Петрографические и минералогические признаки указывают на возможность участия гибридных процессов в происхождении пород вулканов Мутновский и Горелый, а также вулканического хребта Двугорбая-Скалистая-Каменная.

К ним можно отнести присутствие в андезито-базальтах ранних циклов (I-III) формирования современной постройки в. Горелый вкрапленников Ol, Pl, Cpx и Opx, имеющих обратную зональность, существование зон резорбции и следов плавления у ранних вкрапленников плагиоклаза, а также наличие неравновесных минеральных ассоциаций. В молодых базальтах рифтовой зоны вулкана минералогические признаки гибридизма практически отсутствуют.

В базальтах молодой постройки в. Мутновский-IV, а также в умеренно кислых породах древней постройки в. Мутновский-I встречаются фенокристы Pl, Cpx, Ol с обратной зональностью. Для умеренно кислых лавах вулканического хребта характерны вкрапленники Pl и Cpx с обратной зональностью. Спорадически встречающиеся зерна оливина, обрастающие каймой из пироксена, по мнению (Sakuyama, 1979), являются показателем смешивания базальтовой и кислой магмы. Об этом свидетельствует также широкое распространение включений базальтов и микровключений габброидов и гранодиоритов в умеренно кислых и кислых породах вулканического хребта.

О влиянии процессов коровой контаминации на магмогенезис умеренно кислых и кислых пород свидетельствуют и особенности изотопного состава кислорода. Средние и кислые лавы вулканического хребта Двугорбая-Скалистая-Каменная заметно обогащены $\delta\ ^{18}O$ (в андезито-дацитах – 6.8 $^{0}/_{00}$ и дацитах - 6.9 $^{0}/_{00}$) по сравнению с породами мантийного генезиса (5.5-6.5 $^{0}/_{00}$). Вариации $\delta\ ^{18}O$ в базальтах и андезито-базальтах ранних циклов формирования современной постройки в. Горелый (6.1 - 6.8 $^{0}/_{00}$) и в умеренно кислых эффузивах древнего в. Мутновский-I (5.6-7.0 $^{0}/_{00}$), также указывают на возможность контаминации первичных магм коровым компонентом.

В настоящее время многие исследователи полагают, что процессы кристаллизационной дифференциации (FC) и ассимиляции (A) связаны в природе в единый AFC процесс (DePaolo, 1981; Wilson, 1991 и др.). Для компьютерного моделирования AFC процесса в качестве основных начальных членов использовались наиболее магнезиальные базальты; в качестве корового контаминанта - средний состав верхней коры по (Wedepohl, 1995).

На диаграммах TiO_2/K_2O – K_2O (рис. 6), Na_2O/K_2O – K_2O тренды пород изученных вулканических сооружений отчетливо различаются между собой. Особенности эволюции эффузивных и экструзивных пород в. Мутновский и вулканического хребта Двугорбая-Скалистая-Каменная дают основание говорить о преобладающем вкладе в их эволюцию коровой контаминации. Коэффициент r, характеризующий относительную роль ассимиляционных и кристаллизационных процессов, близок к единице, вследствие чего вариации составов пород описываются простым уравнением смешения.

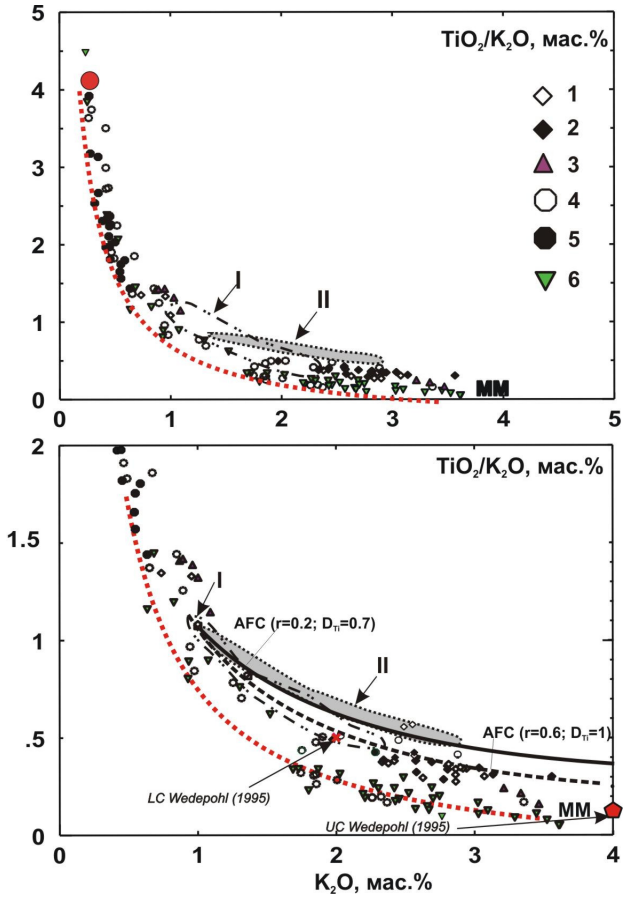


Рис. 6. Диаграмма TiO_2/K_2O – K_2O для пород в. Мутновский и в. Горелый.

Условные обозначения 1-5 см. на рис. 4 и 5; 6 – породы вулканического хребта. На диаграмме показаны рассчитанные тренды смешения для пород в. Мутновский (ММ) и AFC-тренды для пород в. Горелый. Тренд AFC для пород в. Мутновский на диаграмме не показан, поскольку полностью повторяет тренд смешения (ММ). Римскими цифрами обозначены поля фигуративных точек: вулканитов первых трех циклов развития современной постройки(I) и вулканитов двух последних циклов развития современной постройки (II).

Для эффузивных пород в. Горелый с определенной долей условности можно выделить два субтренда (рис. 6).

Первый формируется основными лавами I и III циклов (Q_3^4-Q_4^2) развития современной постройки и близкими к ним по времени излияния (Q_2-Q_3^3) кислыми вулканитами (игнимбриты, экструзивные дациты и риолиты). На диаграмме TiO_2/K_2O – K_2O он наиболее корректно описывается уравнениями со значениями r ≈ 0.6 (достаточно высокая роль ассимиляционных процессов) и валовым коэффициентом распределения TiO_2, близким к единице. Последнее не противоречит минералогическим данным, поскольку для этих пород характерны многочисленные включения шпинели во вкрапленниках оливина.

Второй субтренд характеризует базальты, андезито-базальты и андезиты заключительных циклов (V-VI) развития вулкана Горелый и представляет собой практически прямую линию (r = 0.2), что свидетельствует о преобладающей роли кристаллизационной дифференциации в их эволюции.

Таким образом, согласно минералогическим и геохимическим данным, коровая контаминация играла важнейшую роль в происхождении эффузивных пород в. Мутновский и ранних циклов (I–III) формирования современной постройки в.

Горелый. В происхождении лав рифтовой зоны (V-VI циклы) современной постройки роль этого процесса была менее значительна.

Четвертое защищаемое положение

Эволюция геохимических характеристик магм двух изученных вулканов, а также геологические данные, указывают на изменение тектонического режима развития, территории начиная с позднего плейстоцена (Q_3^4) вызванного усилением роли растягивающих напряжений.

Результаты выполненных исследований показывают определенную эволюцию составов магматических продуктов вулканов Горелый и Мутновский.

Для **в. Горелый** характерно относительное сокращение разнообразия составов пород во времени. Дифференцированная базальт - андезито-базальт – андезит – дацит - риодацитовая (с преобладанием дацитов) ассоциация, свойственная ранним этапам развития вулкана (докальдерный и ранний посткальдерный комплексы), сменяется менее дифференцированной базальт – андезито-базальт – андезитовой (с преобладанием андезито-базальтов) на раннем (I-III циклы) и завершающем (V-VI циклы) этапах формирования современной постройки. Если базальты докальдерного (Q_2) и раннего посткальдерного (Q_3^{3-4}) комплексов в. Горелый по содержанию большинства петрогенных элементов близки между собой, то базальтоиды I-III циклов развития современной постройки (Q_3^4- Q_4^2) имеют повышенное содержание Na_2O, K_2O, MgO, SiO_2, Co, Cr, Ni, Rb, Cs, Ba, Th, U и пониженными – CaO, Sr, V. Вулканиты рифтовой зоны (Q_4^3 -Q_4^4), содержат больше TiO_2, K_2O, P_2O_5, Rb, Cs, Ba, Th, U, Nb, Hf, Zr, а также тяжелых лантаноидов (HREE) и несколько меньше - Sr и в какой-то мере Al_2O_3, Ni чем базальты ранних циклов формирования современной постройки (Q_3^4-Q_4^2).

Для **в. Мутновский** также свойственна отчетливая тенденция сокращения разнообразия пород во времени. Наиболее широкий диапазон составов пород (от базальтов до дацитов) присущ древней постройки (Q_3^2). Современное вулканическое сооружение (Q_3^4-Q_4) сложено исключительно базальтами и андезито-базальтами. Основная тенденция изменения петрогеохимических характеристик базальтов в. Мутновский во времени выражена в снижении концентрации Na_2O, TiO_2, Al_2O_3, Sr, Yb и увеличении – CaO, MgO, Ni, Cr, Ta, Hf.

Таким образом, наиболее древние базальты обоих структур отличаются низкой калиевостью и магнезиальностью, но высокой глиноземистостью. Как следствие, для них характерно избыточное, по сравнению с низкобарической Ol-Pl котектикой, содержание нормативного плагиоклазового компонента (рис. 7).

Избыточное, по сравнению с низкобарической котектикой, содержание нормативного плагиоклаза в базальтах в. Мутновский-I можно объяснить моделью кумулятивного накопления этого минерала, о чем свидетельствует высокое количество в базальтах вкрапленников плагиоклаза (до 70 об. %) с аномально высоким содержанием анортитового компонента (до ~ 90 мол % An) и с отчетливыми петрографическими признаками резорбции.

Но, высокоглиноземистые базальты раннего поскальдерного комплекса в. Горелый отличаются афировыми и субафировыми структурами. Поэтому их происхождение, скорее всего, связано с фракционированием Ol-Cpx ассоциации из первичного высокомагнезиального расплава в условиях повышенного водного давления. Эта модель подтверждается находками высокомагнезиальных базальтов (MgO ~ 10 мас %) голоценового возраста на внешних юго-западных склонах вулканоструктуры. О повышенном содержании воды на начальных этапах развития вулкана косвенно свидетельствуют геохимические признаки высокой

степени плавления мантийного источника - низкие содержания в древних базальтах калия и других некогерентных элементов.

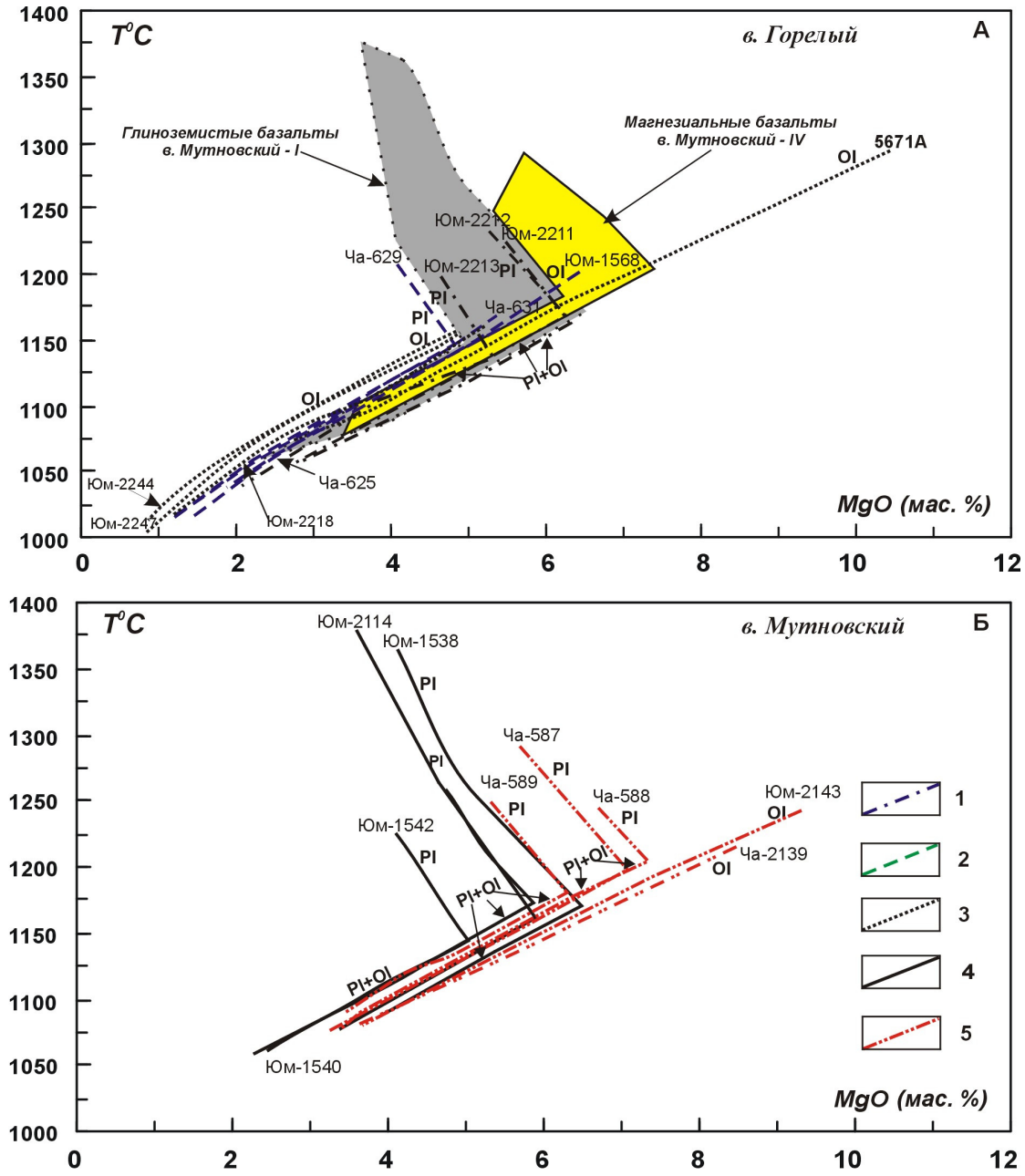


Рис. 7. Расчетные линии эволюции состава расплава при равновесной кристаллизации в. Горелый (А) и в. Мутновский (Б).

1-3 – в. Горелый: 1 – базальты, раннего посткальдерного комплекса; 2 –базальты I-III циклов развития современной постройки в. Горелый; базальты V-VI циклов развития современной постройки в. Горелый; 4 - базальты древней постройки в. Мутновский-I; 5 – базальты современной постройки в. Мутновский-IV;Цифры около трендов соответствуют номерам образцов. Pl – область кристаллизации плагиоклаза; Pl+Ol – плагиоклаз-оливиновая котектика.

Важно заметить, что обе модели - как аккумуляции плагиоклаза, так и раннего фракционирования оливин-клинопироксеновой ассоциации, предполагают

длительную задержку первичных магм в периферических магматических очагах. Это хорошо согласуется со значительным, вплоть до риолитов, вариациями состава вулканитов начальных этапов формирования вулканов Горелый и Мутновский и с отчетливыми геохимическими и минералогическими признаками *коровой контаминации.* Заключительные этапы формирования вулканов связаны с излияниями более однородных, преимущественно базальт – андезито-базальтовых магм, либо близких (Мутновский), либо отвечающих (Горелый) низкобарической Ol-Pl котектики. О сравнительно быстром поступлении расплавов к поверхности, без длительной задержки в коровых магматических очагах, свидетельствуют и отсутствие геохимических признаков значительного влияния коровых процессов в их генезисе.

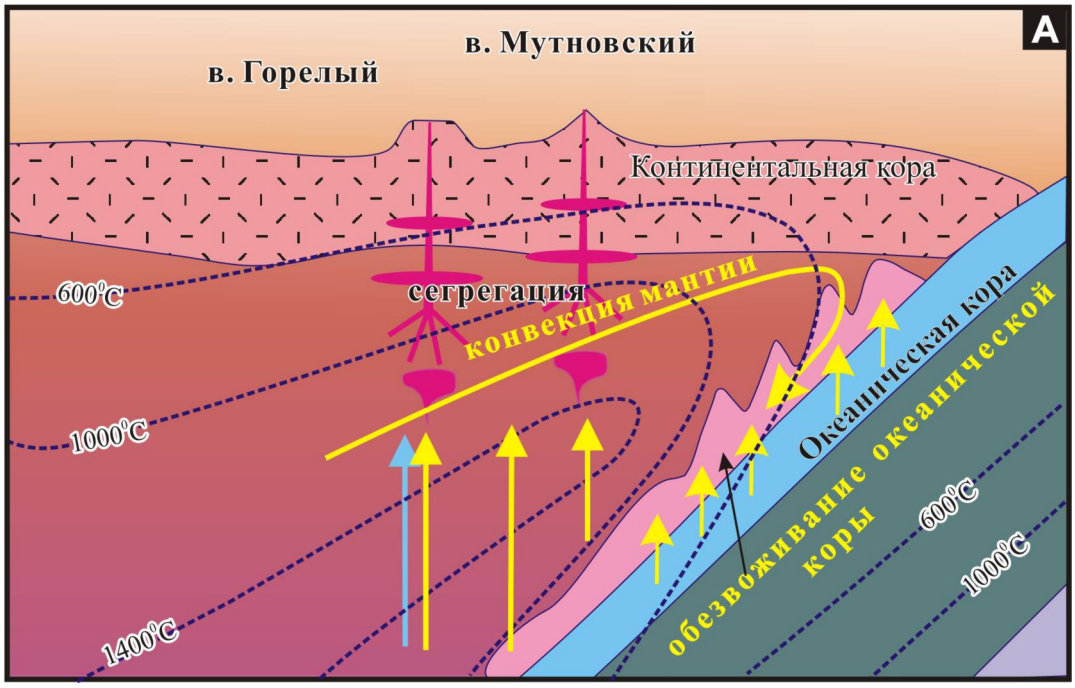
Изменение составов магматических продуктов в. Горелый отчетливо коррелируется с изменением типа вулканической активности: переходом к вулканизму трещинного типа, с излиянием преимущественно основных лав вдоль рифтовой системы трещин. Согласно структурным исследованиям (Леонов, 1989), в конце позднечетвертичного периода рассматриваемый район был рассечен системой разломов северо-северо-восточного простирания. Имея характер раздвигов, эти разломы фиксируют здесь новейший этап растяжения земной коры. Таким образом, петрологические данные хорошо согласуются с геологическими наблюдениями и дают основание предполагать начало структурной перестройки территории в позднем плейстоцене (Q_3^4). Усиление роли растягивающих напряжений привело к вовлечению в процесс плавления более обогащенного мантийного вещества и изменению состава магматических продуктов.

На основании полученных данных, можно предложить следующую модель эволюции вулканов Горелый и Мутновский.

На ранних стадиях формирования вулканических сооружений (докальдерный и ранний посткальдерный этапы развития в. Горелый, древней постройки Мутновский-I) в плавление были вовлечены сравнительно деплетированные участки мантии. Эволюция первичных магм в глубинных очагах, расположенных в основании коры, приводило к фракционированию оливин-клинопироксеновой минеральной ассоциации и появлению высокоглиноземистых остаточных расплавов. Подъем последних к поверхности сопровождался их задержкой в коровых периферических очагах, фракционированием плагиоклаза (в. Мутновский-I), плавлением вмещающих пород и формированием гибридных магм, контаминированных коровым материалом.

В результате конвекции в надсубдукционном мантийном клине, на завершающих стадиях формирования вулканов Горелый и Мутновский в плавление вовлекалась более обогащенная мантия тыловой зоны вулканической дуги. Вследствие нарастающего растяжения, периферический очаг в. Горелый перестал функционировать и магматические расплавы поступали к поверхности напрямую из нижнекорового очага, без существенного взаимодействия с верхней корой. В пределах в. Мутновский верхнекоровый очаг продолжал функционировать, но при менее значительной задержке в нем магматических расплавов и, соответственно, сравнительно небольшой степени взаимодействия с материалом верхней коры.

Q_3^2-Q_3^{3-4}



Q_3^4-Q_4^4

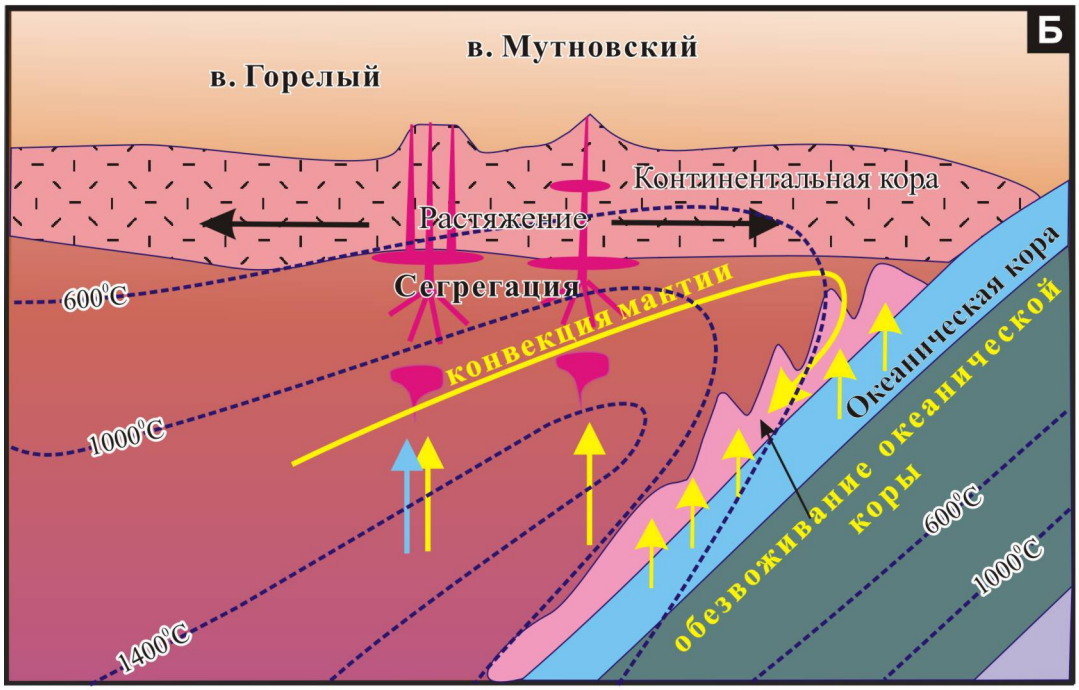


Рис. 6.16. ***Модель магмогенезиса пород вулканов Горелый и Мутновский в начальные (А) и в заключительные (Б) этапы формирования построек.***

1 - флюид образующийся при дегидратации океанической плиты
2 - флюид образующийся при дегидратации и плавлении осадочного материала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Соответствует по содержанию основным защищаемым положениям.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Чащин А.А.**, Мартынов Ю.А., Рассказов С.В., Максимов С.О., Брандт И.С., Саранина Е.В. Изотопно-геохимическая характеристика субщелочных и щелочных базальтов юга Дальнего Востока России как показатель роли континентальной литосферы в их происхождении // Петрология, 2007, том 15, № 6 с 656-681

2. **Чащин А.А.,** Мартынов Ю.А. Срединно-Камчатский вулканический пояс: Южно-Камчатская и Центрально-Камчатская зоны (олигоцен-миоцен) // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. Ч. II. Гл. 5. Магматические пояса и зоны типовых геодинамических обстановок. Зоны внутриплитного магматизма. Владивосток: Дальнаука. 2006 С. 294-304

3. **Чащин А.А.,** Мартынов Ю.А. Центрально-Камчатская вулканическая зона // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. Ч. II. Гл. 5. Магматические пояса и зоны типовых геодинамических обстановок. Зоны внутриплитного магматизма. Владивосток: Дальнаука. 2006 С. 417-429.

4. **Чащин А.А.,** Полин В.Ф., Иванов В.В., Коновалова Н.П., Екимова Н.А. Флюидный режим палеогеновой и неоген-четвертичной олово-серебряных и золото-серебряных рудно-магматических систем Корякии и Камчатки // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 69-90.

5. **Чащин А.А.,** Хетчиков Л.Н., Иванов В.В., Рассказов С.В. Цурикова Л.С. Коновалова Н.П. Флюидный режим формирования магматических пород и Au-Ag оруденения Вилючинской вулкано-тектонической структуры (южная Камчатка) // Рудные месторождения континентальных окраин. Выпуск 2 Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 341-366.

6. Мартынов Ю.А., Перепелов А.Б., **Чащин А.А.** Геохимическая типизация базальтоидов Мутновского вулканического поля (южная Камчатка) // Тихоокеанская геология, 1995. № 5. С. 72-83.

7. Мартынов Ю.А., Дриль С.И., **Чащин А.А.**, Рыбин А.В., Мартынов А.Ю. Деплетированный характер вулканизма острова Кунашир – роль несубдукционных факторов в магмогенезисе Курильской островной дуги // ДАН. 2004. Т.394, №4. С. 527-532.

8. Мартынов Ю.А., Дриль С.И., **Чащин А.А.,** Рыбин А.В., Мартынов А.Ю. Геохимия базальтов островов Кунашир и Итуруп – роль несубдукционных факторов в магмогенезисе Курильской островной дуги // Геохимия № 4 2005 с. 369-383.

9. Мартынов Ю.А., Мартынов А. Ю., **Чащин А.А.,** Рыбин А.В. Базальты вулкана Тятя: петрология и генезис (островов Кунашир, Курильская островная дуга) // Тихоокеанская геология. 2005. Том 24, № 3. С. 22-31.

10. Мартынов Ю.А., Кимура Дж.И., Ханчук А.И., Рыбин А.В., **Чащин А.А.,** Мартынов А.Ю. Магматические источники четвертичных лав Курильской островной дуги: новые данные по изотопии стронция и неодима. ДАН, 2007, том 416, № 5, с. 670-675.

11. Мартынов Ю.А., **Чащин А.А.**, Округин В.М. Восточно-Камчатский вулканический пояс (квартер) // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. Ч. II. Гл. 5. Магматические пояса и зоны типовых геодинамических обстановок. Зоны внутриплитного магматизма. Владивосток: Дальнаука. 2006 С. 305-308.

12. Мартынов Ю.А., **Чащин А.А.** Породообразующие минералы основных эффузивов Мутновского геотермального района // Новые данные по петрологии магматических и метаморфических пород Камчатки Владивосток. ДВО АН СССР,1989. С. 112-128

13. Перепелов А.Б., **Чащин А.А.,** Мартынов Ю.А. Срединно-Камчатская зона (плиоцен-голоцен) // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Кн. 1. Ч. II. Гл. 5. Магматические пояса и зоны типовых геодинамических обстановок. Зоны внутриплитного магматизма. Владивосток: Дальнаука. 2006 С. 382-398.

14. Хетчиков Л.Н., Пахомова В.А., Попов В.К., **Чащин А.А.**, Сапин В.И. Состав расплавленных включений в минералах и температурный режим формирования пород вулкана Дикий Гребень (Камчатка) // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19, № 4. С. 3-11.

15. Хетчиков Л.Н., Пахомова В.А., **Чащин А.А.,** Одариченко Э.Г. Особенности состава силикатных стекол расплавных включений в минералах и основной массе пород вулкана Горелый (южная Камчатка) // Синтез минералов и методы их исследования. Геология месторождений пьезооптического и камнесамоцветного сырья. Труды ВНИИСИМС Том XVI. Александров. 2000 С.322-336.

16**. Чащин А.А.**, Игнатьев А.В. Геохимические типы кислых вулканитов Мутновского геотермального поля // Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ. Тезисы докладов. Москва. 1997. С. 307-308.

17. **Чащин А.А** Корреляция средне-верхнечетвертичных экструзивных образований Мутновского вулканического поля (Южная Камчатка) //Тез. докл. научно-технической конференции ДВГУ, Владивосток,1996.С-14-16.

18. Иванов В.В., **Чащин А.А.**, Лэйер П.В., Кроу Д.Е., Зиньков А.В., Игнатьев А.В., Багмут Н.Н., Афанасьева Т.Б. Новые данные по золото-серебряным рудно-магматическим системам Южной Камчатки // Проблемы геологии, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых Дальнего Востока. Труды ДВГТУ. Владивосток: Изд-во ДВГТУ. 1997. Вып.118. Сер. 4. С.13-20.

19. **Чащин А.А.,** Иванов В.В. Особенности магматизма и золото-серебряного оруденения Вилючинской ВТС (Южная Камчатка) // Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Северо-Восточной Азии. IX сессия Северо-Восточного отделения Всероссийского минералогического общества. Тезисы докладов. Магадан. 1997. С. 58-60.

20. **Чащин А.А.,** Иванов В.В., Сапин В.И. Флюидный режим формирования гранодиоритов золото-серебряного месторождения Родниковое (Южная Камчатка) // Гранитоидные вулкано-плутонические ассоциации. Тезисы докладов Всероссийского совещания. Республика Коми, г. Сыктывкар. 1997. С. 83-84.

21. **Чащин А.А.** Петрогенезис кислых расплавов вулкана Горелый // Первая международная конференция «Вулканизм и биосфера» Тезисы докладов. Туапсе. 1998. С. 28-29.

22. **Чащин А.А.,** Баринов Н.Н., Екимова Н.И., Груда Н.П., Афанасьева Т.Б. Биотит как индикатор физико-химических условий происхождения кислых пород

Мутновского геотермального района (Камчатка) // Минералогия Урала. Материалы III-го регионального совещания. Миасс. 1998. Том II. С. 154-156.

23. **Чащин А.А.** Игнимбриты вулкана Горелого (Южная Камчатка): состав, условия формирования // Проблемы геологии, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых Дальнего Востока. (Труды ДВГТУ. Вып. 121, сер. 4). Владивосток. 1999. С. 142-148.

24. **Чащин А.А.** Режим флюидов Гореловско-Мутновской магматогенно-гидротермальной системы (Камчатка) // Тез. докл. IV междунар. конф. “Новые идеи в науках о Земле”. М. 1999. Т. 2. С. 113.

25. **Чащин А.А.,** Пахомова В.А., Хетчиков Л.Н. Опыт определения состава расплавов, формирующих породы вулкана Горелый, по расплавным включениям в минералах // Тезисы докл. IX Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров: ВНИИСИМС. 1999. С. 62-64.

26. Хетчиков Л.Н., **Чащин А.А.,** Пахомова В.А., Одариченко Э.Г. Вкрапленники плагиоклаза в базальтах вулканов Горелый и Мутновский (юг Камчатки) и условия их образования по данным изучения расплавных включений // X Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров: ВНИИСИМС. 2001 С.111-140.

27. Chashchin A.A. Basalt formation of Gorelyi volcano (South Kamchatka) // 32 IGC Florence, 2004 – Scientific Sessions: abstracts (part 1), P. 407.